

## 페루 중부 오윤 다중금속 광화작용에 대한 조사보고

이재호\* · 김인준 · 남형태

한국지질자원연구원 광물자원연구본부

## A Survey Report on the Polymetallic Mineralization in the Oyon Mineralized District, Central Peru

Jaeho Lee\*, Injoon Kim and Hyeong-tae Nam

*Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Republic of Korea*

*(Received: 19 October 2016 / Revised: 2 December 2016 / Accepted: 9 February 2017)*

The surveyed mines are located in a polymetallic vein, replacement, and skarn mineral district in the central Andes of Peru. Iscaycruz, which includes underground and open pit mines that produce zinc and lead concentrates, was the largest mineral deposit of an important group of base metal deposits in the Andes of central Peru. The deposits are sub-vertical seams of polymetallic ores (Zn, Cu, and Pb). These seams are hosted by Jurassic and Cretaceous sedimentary rock formation. The intrusion of igneous rocks in these formations originated metallic deposits of metasomatic and skarn types. The Raura mine is composed of polymetallic deposit of veins and replacement orebodies. The main sedimentary unit in the area is Cretaceous Machay Limestone. The Raura depression contains several orebodies each with different mineralization: predominantly Pb-Zn bearing Catuvo orebody; Ag-rich galena-bearing Lake Ninacocha orebody; Cu-Ag bearing Esperanza and Restauradora orebody. Huaron is a hydrothermal polymetallic deposit of silver, lead, zinc, and copper mineralization hosted within structures likely related to the intrusion of monzonite dikes, principally located within the Huaron anticline. Mineralization is encountered in veins parallel to the main fault systems, in replacement bodies known as “mantos” associated with the calcareous sections of the conglomerates and other favourable stratigraphic horizons, and as dissemination in the monzonitic intrusions at vein intersections.

**Key words :** polymetallic mineralization, deposit type, resources and reserves, Oyon mineralized district, Peru

조사광산들은 페루 중부 오윤지역 다중금속 광화대내 다양한 형태로 부존하고 있다. Iscaycruz Zn-Cu-Pb 광산은 다 금속 고대 및 스키른 광상으로, 상부에 백악기 퇴적물이 놓여있는 이토질의 쥐라기 퇴적물로 형성된 퇴적암 층군내에 배태한다. 이 층군내 화성암의 관입은 다중금속 광화작용을 발생시켰다. Raura Pb-Zn-Cu 광산은 백악기 마차이(Machay) 석회암층이 퇴적되어 있으며, 섬록반암이 관입과 연관된 암맥들에 의해 광화작용이 발달한다. 여러 개의 광체가 발달하고 있으며, 그 중 카투보(Catuvo)광체는 Pb-Zn 광물이 우세하게, 니나코차(Ninacocha)광체는 Ag가 풍부한 방연석이 산출된다. 에스페란자(Esperanza)광체와 레스토라도라(Restauradora) Cu-Ag 광체는 맥상으로 수많은 소규모의 구조에 의해 광화작용이 규제되고 있다. Huaron 광산은 Ag, Pb, Zn Cu 광화작용에 의해 형성된 열수다중금속광상으로, Huaron 배사구조내에 주로 위치하는 몬조나이트 암맥의 관입과 관련된 구조내에서 발달한다. 광화작용은 주요 단층계에 평행한 맥상으로, 역암과 기타 적합한 층서면의 탄산염부분과 관련된 “manto”로 알려진 고대광체로, 그리고 맥의 교차점에서 몬조나이트 관입체내 광염상으로 나타난다.

**주요어 :** 다중금속 광화작용, 광상형태, 자원량과 매장량, 오윤광화대, 페루

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided original work is properly cited.

\*Corresponding author: [jhlee@kigam.re.kr](mailto:jhlee@kigam.re.kr)

## 1. 서 론

페루에는 남서쪽부터 북동쪽으로 Fe, Cu-Mo-Au, Cu-Pb-Zn-Ag, Sn-W-Ag-Sb-Bi 금속광화대가 발달한다(Stoll, 1965; Grant *et al.*, 1980). 이러한 광상의 대상분포는 안데스 산맥 아래 저각으로 섭입하는 나즈카 판의 깊이 변화에 따라 생긴 마그마의 성질 차이 때문인 것으로 생각된다(Sillitoe, 1976). 동쪽으로 갈수록 섭입과 연관된 화성활동이 약화되는데, 이로 인해 서부 꼬르디예라(Cordillera) 지역과 알띠플라노(Altiplano) 지역에는 I-형의 화강암 계열이 우세하고, 반면에, 동부 꼬르디예라(Cordillera) 지역에는 S-형의 화강암 계열이 우세하게 나타난다(Ishihara, 1981; Lehman *et al.*, 1990). 특히, 고알루미나형이면서 환원환경의 특징을 보이는 화강암 계열 암석들의 분별결정작용에 의해 페루 남동쪽부터 볼리비아를 거쳐 아르헨티나 북쪽까지 약 100 km에 걸쳐 동부 꼬르디예라를 따라 주석광화대가 발달한다(Ishihara, 1981; Lehman *et al.*, 1990).

화산호(volcanic arc)인 페루지역과 같이 섭입대 환경에 놓인 지역은 Au와 Cu의 발달이 유리한 지역이다(Rosenbaum *et al.*, 2005). 페루지역은 약 200만년 동안 해양판인 나즈카판이 대륙판인 남아메리카판을 동쪽에서 점진적으로 섭입하고 있다. 아직도 조산활동이 진행되고 있으며, 지금의 조산활동은 트라이아스기 후기(220±10 Ma)부터 시작되었다. 그러나, 페루지역 광상의 시공간적 분포는 이러한 점진적인 섭입과 연관이 있는 것이 아니라 특정적인 시기에 강하게 나타나기 때문으로 생각되고 있다. 예를 들어, 중신세의 광화대는 상대적으로 짧은 기간(15-5 Ma)에 형성 되었으며, 이때 광화대는 페루 북쪽과 칠레의 중앙에 집중되는데, 이러한 현상은 아마 나즈카 해령의 섭입과 연관이 있는 것으로 보고되고 있다(Clark *et al.*, 1990).

본보고는 페루 중부 오윤지역 다금속 광화대내 부존하는 Iscaycruz Zn-Cu-Pb 광산, Raura Pb-Zn-Cu 광산 및 Huaron Ag-Pb-Zn 광산의 성인을 규명하기 위해 수행된 지표와 시추코아 조사 결과를 광산축의 조사내용과 함께 요약한 것으로, 국내자원관련 유관기업에 소개할 목적으로 작성되었다.

## 2. 본 론

### 2.1. 광역지질 및 광상

연구 광산들이 분포하고 있는 페루 중부의 오윤지역

의 광역지질은 다음과 같다(Bussel *et al.*, 1990). 페루 중부의 중생대 및 제 3 기에 발생한 퇴적작용, 마그마작용 및 지구조 활동의 형태는 고생대에서 선캄브리아기의 대륙기반암내 발달된 지속적인 안데스산맥대가 우세하다(Fig. 1). 산맥대 서쪽 끝에 형성된 고생대 기반암은 현재 외대륙봉 높이의 연안에 위치하고 있다. 페루 트러프(trough)의 동서는 마라논(Maranon) 지향사의 선캄브리아기 기반암으로 분리된다. 백악기 초에는 서쪽 트러프는 해양에서 삼각주로 변화된 환경에서 퇴적된 두꺼운 쇄설성 퇴적층(Chimu, Santa, Carhuaz, Farrat Formation)으로 구성되었다. 이 퇴적층은 마라논 지향사의 기반암에 부정합으로 놓여 있는 고이라리스퀴즈가(Goyllarisquiza) 층의 치밀한 삼각주 퇴적물과 대비된다.

알비안(Albian) 기에는 서쪽 페루 트러프는 두 개의 평행한 안데스산맥대로 발달되었는데, 서쪽은 화산쇄설 분지, 동쪽은 탄산염이 우세한 봉대지(shelf face)로 대별된다. 서쪽이 두꺼운 쇄기형의 플랫폼 탄산염(platform carbonate)은 봉(shelf)위에 축적되었으며, 대규모의 고철질의 베게용암과 화산 쇄설암은 서쪽분지에서 분출되었다(Fig. 1). 이들 화산암은 큰 규모의 대륙 팽창을 지시하는 많은 안데스 산맥 방향의 암맥의 부화와 관련된다.

생성연대 연구를 통하여, 서쪽 분지내 화산작용, 모치카페이스(Mochicaphase) 습곡 그리고 해안 저반의 가장 빠른 관입은 후기 백악기 초에 밀접하게 서로 연속적으로 발생되었음이 규명되었다(Beckinsale *et al.*, 1985). 반면, 탄산염암의 퇴적작용은 코니아시안(Coniacian)까지 동쪽 봉에서 계속되었다. 산토니안(Santonian)에서 에오세(Eocene)의 상부 적색층은 하성의 환경에서 퇴적되었다.

대규모의 동향의 습곡과 스트러스트는 적색층과 봉의 고기 층에 영향을 끼쳤다. 이 구조들은 부정합으로 제 3 기의 안산암과 석영안산암에 의해 상부에 위치한다(Fig. 1). 화산작용 후기의 암석으로부터 측정된 연대를 통하여 변형작용은 때때로 산토니안에서 팔레오세(Paleocene) 말에 발생되었던 것으로 알려졌으나(Wilson, 1975) 일부 연구에서는 제 3 기 말에 변형이 일어났었음이 밝혀지기도 하였다(Megard, 1984).

코르딜레라 블랑카(Cordillera Blanca) 저반의 주요 관입암체는 마이오신 중후반에(12-9Ma) 습곡된 봉 퇴적물 내에 정치되었다(Mukasa and Tilton, 1983). 그리고 일련의 암반은 저반으로부터 남쪽으로 확장된다.

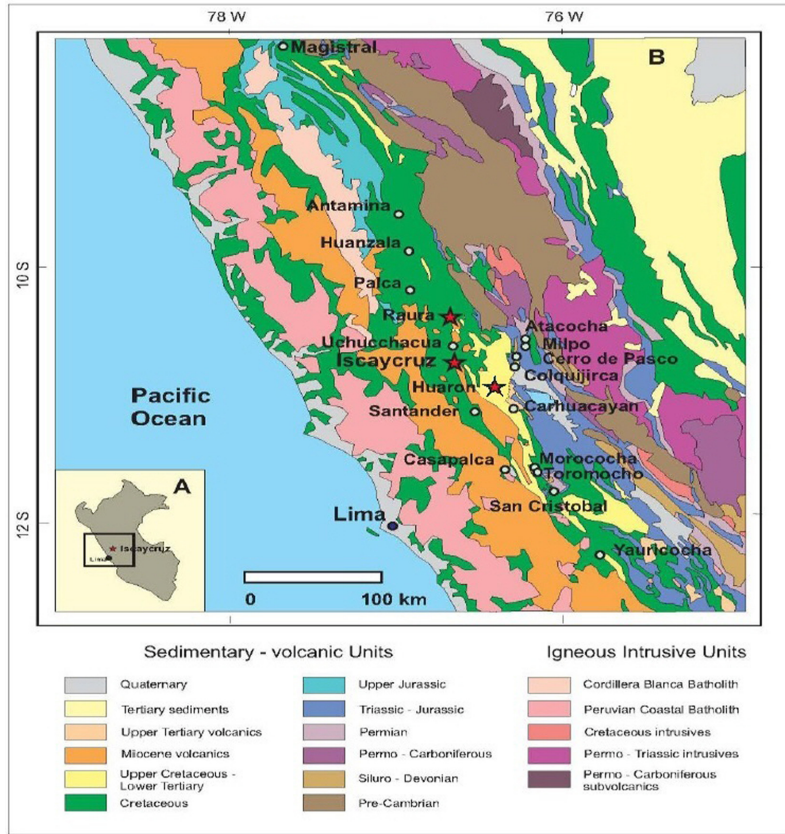


Fig. 1. Simplified geological map, showing the distribution of mines, of Oyon mineralized district, central Peru.

일련의 암체는 연구지역의 광화작용과 밀접히 연관되어 있는 것으로 보고되고 있다(Bussel *et al.*, 1990).

본 연구지역은 지질학적으로 “Provincia Metalogenica Andina Occidental”에 해당되는 “Sub-Provincia Polimetallica del Altiplano”에 위치하며, 지역내에는 Raura (Pb-Zn), Uchucchacua(Ag), Atacocha(Pb-Zn-Ag), Cerro de Pasco(Pb-Zn-Ag), Huaron(Pb-Zn-Ag), Santander (Cu-Zn)과 같은 많은 중금의 광산들이 산재한다. 이 광상들은 광석, 형태 및 성인에 따라 다음과 같이 분류된다;

- 백악기 석회암내 Cu-Pb-Zn 접촉교대 광체 ; Raura, Chupa, Iscaycruz의 일부
- Iscaycruz 광산의 백악기 석회암내 Pb-Zn-황철석 괴상 열수 교대광체
- Uchucchacua 광체 및 Raura 광체 일부의 백악기 석회암내 Ag-Pb-Zn 열극 충전 광체
- Chanca 광체 및 Raura 광체 일부의 제 3 기 화산암 및 관입암내 Ag-Pb-Zn 열극 충전 광체

## 2.2. Iscaycruz Zn-Cu-Pb 광산

본 광산 지역은 페루의 수도 리마에서 북북동쪽으로 320 km 떨어진 안데스 서쪽에 위치한다(해발고도 4,800 m). 광상은 Zn을 포함한 다중금속광체를 포함하는 층으로 이루어져 있으며, 상부가 백악기 퇴적물로 덮여 있는 이토질의 쥐라기 퇴적물로 구성된 퇴적암 층군내에 배태한다(Los Quenuales, 2015). 이 층군내 화성암의 관입은 접촉교대 및 스카른 금속광화작용을 야기시켰다. 주요 광체는 Limpe Centro, Chupa, Tinyag, Rosita 광체 등으로, 노천 및 갱내채굴로 개발되고 있다(Fig. 2).

본 광산지역은 안데스 백악기 분지에 위치한다. 이 분지는 구조적으로 페루 안데스의 서쪽부를 대표하는 일련의 습곡과 트러스트에 의해 특징된다. 백악기 암석은 Oyon, Chimu, Carhuaz, Farrat 층군에 해당하는 사암, 규질 사암, 석회암을 포함하는 쇠설암으로 하부를 구성한다. 상부는 Pariahuanca, Chulec, Pariatambo, Jumasha 층군에 해당하는 역청 셰일을 포함하는 석회

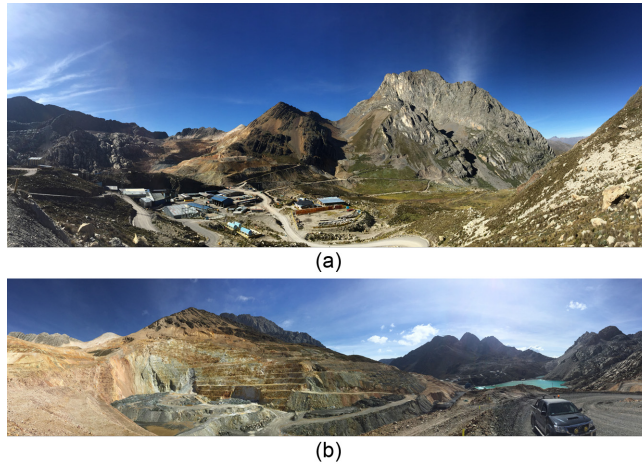


Fig. 2. Photographs of Iscaycruz mine. (a) underground site, (b) open pit site.

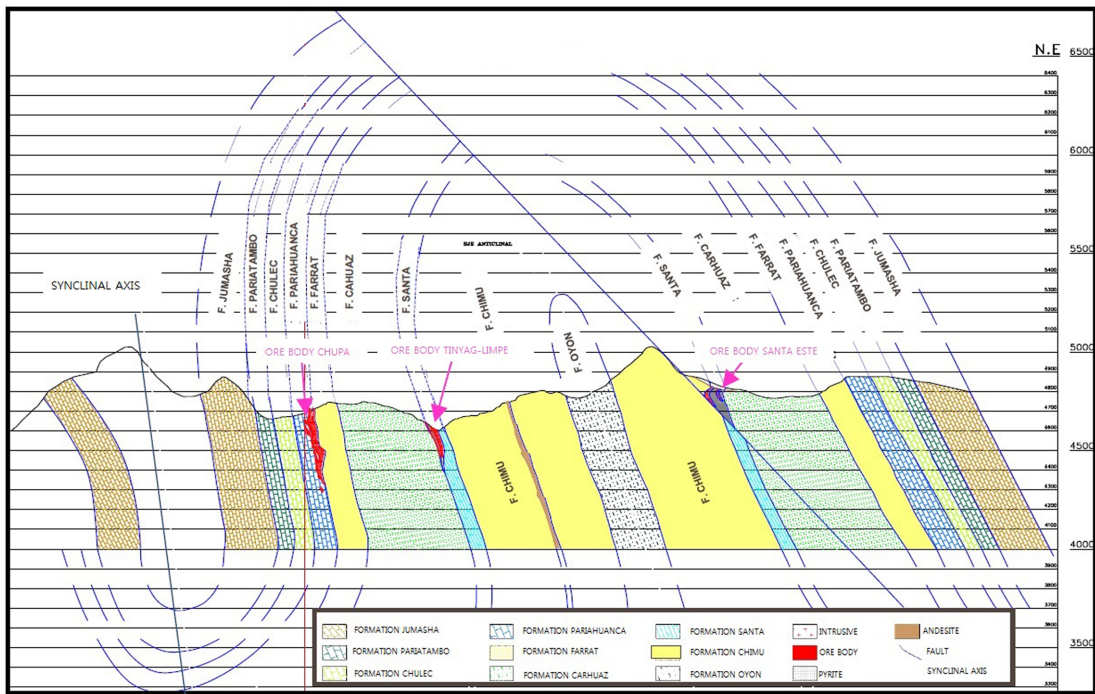


Fig. 3. Geological cross section of Iscaycruz mine.

질 암석으로 구성된다(Figs. 1 and 3).

토날라이트(Tonalite), 석영안산암 및 화강반암을 포함하는 화성암은 이들 퇴적암층군을 관입한다. 마지막으로, Calipuy 층군에 해당하는 제 3 기의 화산암은 이들 퇴적암층군을 부정합으로 덮고 있다.

안데스 조산운동시, 퇴적층은 광역적으로 습곡작용

(N20W)을 받았으며, 연구지역은 75-80NE 경사면을 보여준다. 배사 및 향사구조는 수십 km 확장되며, 슬러스트와 밀접히 연관된다. 단층군은 광체의 발달 방향과 밀접한 관련성을 보여준다. 이 단층군은 3개의 단층으로 이루어져 있다. N-S방향의 단층, N-W방향의 단층과 주 단층인 N-E방향의 단층이 발달되어 있으며

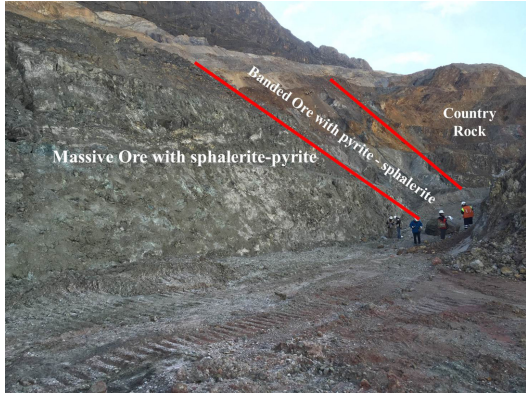


Fig. 4. Outcrop showing ore bodies within Santa formation.

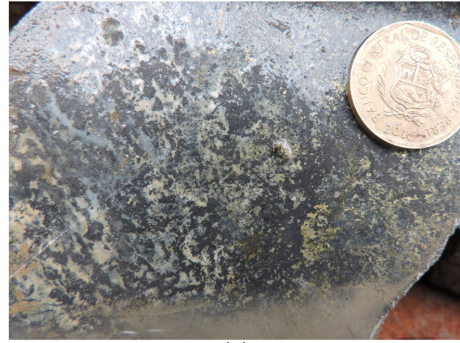


Fig. 5. Photograph of out crop of Gossan.

이 단층면을 따라 광화작용이 나타난다(Fig. 3).

광상은 Santa 층군의 석회암내에서 형성되며, Canaypata 북부에서 Antapampa 남부까지 약 12 km의 거리에 간헐적으로 분포한다. 광화작용은 연-아연을 함유하는 어두운 색의 고산(gossan), 섬아연석과 방연석을 수반하는 괴상의 황철석 광체, 황동석과 섬아연석을 수반하는 괴상의 스키르 광체, 황동석과 섬아연석을 수반하는 적철석 광체, 방연석과 섬아연석을 수반하는 능철석 광체 등이 나타난다(Fig. 4).

지표에 넓게 분포하는 고산은 N30W 방향으로 발달되고 있으며 심한 풍화를 받았다. 산출되는 광물로는 주로 franklinite 와 smithsonite 같은 산화광물, 망간-철 능철석의 산화물, 침철석, 석영, 그리고 고령토이다(Fig. 5). 괴상의 황철석 광체는 주로 자류철석, 백철석을 수반하며, 부수적으로 방연석, 섬아연석과 황동석이 부화되어 산출된다. 광상의 광화대는 마그마 후기의 접촉고대 및 열수계의 열수변질로 특징되며, 고온의 스



(a)



(b)

Fig. 6. Photographs of skarn ore core. (a) pyrite + sphalerite + magnetite assemblage in Tinyag ore body; (b) pyrite + sphalerite + chalcocopyrite assemblage in Chupa ore body.

카르나 작용은 역행변질(retrograde)에 의해 영향 받았다. 주요 스키르 광물은 투각섬석, 녹렴석, 석류석, 석영 그리고 광석광물은 황동석, 섬아연석, 자철석이다(Fig. 6).

산출되는 광석광물은 다양하며 간헐적으로 부화된다. 일반적으로, Cu와 Zn을 포함하는 스키르 광체는 산성 관입암에서 가장 가까운 Limpe South 지역에서 확인되며, 그 외, 연-아연의 괴상 황화물 광체는 Limpe 및 Cumsha Punta 지역에서 발견된다. Iscaycruz 산마루 및 Antapampa 지역의 최외각지역에서는 망간을 포함하는 능철석층내 Pb-Zn 광염광체가 발견된다. 이는 광체의 지역적 분포는 산성 관입암을 중심으로 누대구조로 보이는 특징이 보인다. 이는 연속적인 광화작용이 일어났음을 지시하는 것으로 판단된다.

관찰되는 주요 변질작용은 silicification, sericitization, argillization, sideritization, dolomitization, brecciation 등이 모암에서 뚜렷하게 나타나며(Fig. 7 and Table 1), 광화작용과 관련된 화성암은 Oyon 및 Chimu 층군내에서 관찰되는 산성의 관입암이다.

**Table 1.** Characteristics of ore bodies and associated rock alteration

Tinyag I	Skarn + skarnoides ± hornfels
Tinyag II, Escondida, Chupa	Hornfels ± Skarnoides with epidote + muscovite + chlorite
Limpe South	Ankerite ± siderite ± talc
Limpe Center, Santa East	Siderite + ankerite + dolomite + clinocllore + dickite
Anelcochas	Dolomite + ankerite ± siderite ± rhodochrosite
Mancacuta, Limpe North	Dolomite ± ankerite

**Fig. 7.** Photograph of outcrop showing the advanced argillic alteration in the transitional contact zone between the Chimu and Santa formations.

### 2.3. RAURA Pb-Zn-Cu 광산

Raura 광산은 리마 북동쪽 그리고 Cerro de Pasco 북서쪽에 위치하는 맥상과 교대 광체로 이루어진 다중 금속 광장으로, Oyon 마을 북쪽으로 약 15 km에 위치하며, 해발고도는 4,791 m에 이른다(Figs. 1 and 8).

본 광산은 페루에서 중요한 Cu-Pb-Zn-Ag 광산 중의 하나로, 현재 갱내와 노천에서 채광이 이루어지고 있다(Compania Minera Raura S. A., 2015).

Raura 광산내 주요 퇴적암상은 라우라 함물대 양쪽에서 발달하는 백악기의 화석을 함유하지 않는 얇은 회색의 석회암이며, 알려진 광화작용은 약 24 km<sup>2</sup>에서 발생한다(Fig. 9). 광맥은 섬록반암과 관련되며, 여러 개의 소규모 암반이 발달하고 있다. 함물대는 여러 광체를 포함하는데, Pb-Zn이 우세한 Catuvo 광체는 관입암의 접촉부를 따라 발달한다. 다른 광체는 Ninacocha 호수 가까운 산화대에 위치하며, 광석광물은 Ag가 풍부히 함유된 방연석이다. Esperanza 광체는 Catuvo 광체 북쪽에 위치하며, 스카른 광화작용이 우세한 Toramina 광체도 유용 광물의 부존 가능성이 높은 것으로 알려져 있다. NS-EW주향의 구조선을 따라 발달하는 주요 스카른 광체는 Santa Rosa, Karol, Hadas,

**Fig. 8.** Photograph of Raura mine.

Vanessa, Margot, Brenda, Verónica, Katy, Julissa 등이다.

주요 광체를 둘러싸고 있는 Esperanza와 Restauradora 광맥들은 각각의 길이가 보통 300 m 미만으로 분포한다. Esperanza에서 산출되는 광석광물은 테트라헤드라이트, 방연석, 섬아연석, 황철석, 석영, Mn-방해석 등이다. Esperanza의 주 광맥은 평균 폭 80 cm 이다. 기타 맥들은 EW 주향으로 약 1 m의 폭으로 산출된다. 광맥들은 중앙부에 석영이 먼저 산출되고, 그 이후 테트라헤드라이트, 섬아연석, 방연석, 이후 방해석, 돌로마이트 순으로 산출되는 순으로 층상구조를 보여준다. 부광대는 동과 은이 풍부한 광물들로 구성된다.

광석광물들의 정출순서는 황철석, 섬아연석, 황동석, 테트라헤드라이트, 방연석, 그리고 후기에 유비화물(sulfoarsenide) 광물순이다. 석영은 방연석 결정화시기에 결정화가 이루어진 것으로 보고되고 있다.

갱내조사는 Santa Rosa광체를 대상으로 수행되었다. 갱내에서 관찰된 관계화성암은 섬록암, 반암 및 몬조 나이트이다. 광체는 관계화성암/내성스카른/외성스카른/대리암/모암 순으로 발달하고 있다. 광산축이 밝힌 내성스카른 광체의 품위는 0.25% Cu, <1.0% Pb, 4% Zn, 850 g/t Ag이다(Fig. 10).

최근에는 반암형 Cu-Mo광체를 대상으로 지화학 및 물리 탐사를 활발히 수행하고 있으며(Fig. 9), 석회암지역을 대상으로 칼린형 금광상 탐사계획도 있는 것으로 보고하고 있다. 광산축에서 발표한 자원량과 매장량은 Table 3과 같다.

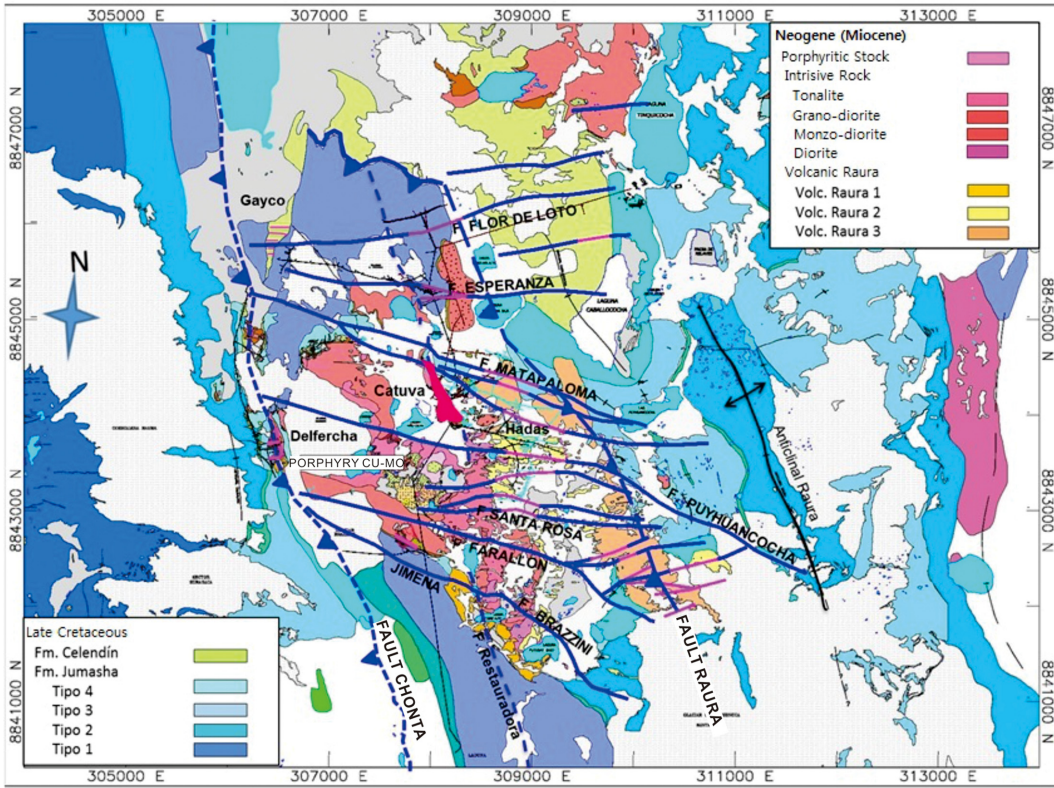


Fig. 9. Geological map of Raura mine district.

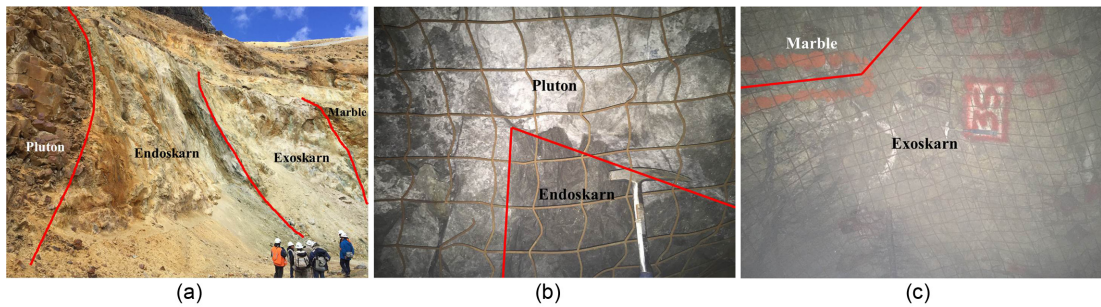


Fig. 10. Photographs of Raura mine. (a) outcrops with a skarn contact zone within open-pit and (b and c) underground site.

Table 2. Iscaycruz mineral resources and reserves as at December 31, 2014

		Tonnes (Mt)	Zn(%)	Pn(%)	Cu(%)	Ag(g/t)
Resources	Measured	0.8	9.46	0.73	0.34	28.63
	Indicated	3.2	7.66	0.78	0.25	36.29
	Inferred	9.0	5.07	0.72	0.12	12.19
		Tonnes (Mt)	Zn(%)	Pn(%)	Cu(%)	Ag(g/t)
Reserves	Proven	0.7	8.77	0.69	0.25	26.08
	Probable	3.0	6.98	0.71	0.21	32.32

**Table 3.** Raura mineral resources and reserves as at December 2015

		Tonnes (Mt)	Zn(%)	Pn(%)	Cu(%)	Ag(g/t)
Resources	Measured	3.9	4.65	2.71	0.27	100.07
	Indicated	3.7	5.62	2.87	0.26	89.87
	Total	7.6	5.12	2.79	0.27	95.25
		Tonnes (Mt)	Zn(%)	Pn(%)	Cu(%)	Ag(g/t)
Reserves	Proven	2.6	4.64	2.59	0.25	91.29
	Probable	2.8	5.81	2.87	0.23	77.11
	Total	5.4	5.25	2.74	0.24	83.63

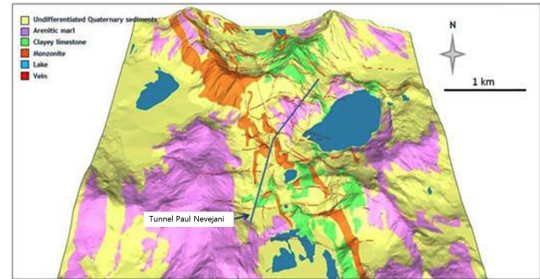
**Fig. 11.** Photograph of Huaron mine.

#### 2.4. Huaron Ag-Pb-Zn 광산

본 광산은 갱내채굴로 개발되는 다금속 Ag 광산으로, 페루 중부 고산지대내(해발고도 4,250 m~4,800 m) Pasco주에 위치한다(Figs. 1 and 11).

Pan American사는 2000년에 Hochschild로부터 대부분을 인수하였으며, 2001년에 재개발을 위한 사업을 빠르게 진행하였다. 현재는 지분의 100%를 인수해 본 광산을 보유하고 있다. 생산량은 지난 수년간 매년 처리공장에서 600,000-800,000 톤(약 Ag 11톤, Cu 2,000 톤, Pb 5,000톤, Zn 12,000 톤 생산)이었으나, 향후에는 870,000 톤이 처리될 것으로 기대하고 있다(Pan American Silver Huaron S, A, 2015).

본 광산은 안데스산맥의 서쪽 산계에 위치하며, 광역지질은 백악기 Machay Group 석회암과 Casapalca Red Beds로 통칭되는 제 3 기의 Pocobamba 퇴적암이 우세하게 나타난다(Fig. 12). 이들 층군은 Huaron 배사구조에 의해 변형되어 왔으며, 이 지역의 주요한 구조적 특징이다. 석회암상과 다른 퇴적암상은 강력하게 습곡작용을 받았으며 석영 몬조나이트와 석영 몬조나이트 암맥에 의해 관입되었고, 이후, 퇴적암은 더욱

**Fig. 12.** Schematic of local geology.

압축되고 파쇄되었으며, 열수용액에 의해 변질되고 광화되었다.

Huaron지역의 주요 암상은 괴상의 해양 석회암을 부정합으로 덮고 있는 연속적인 대륙성 적색층이다. 일련의 안산암과 석영안산암은 광산의 서쪽에 노출되어 있다. 남북방향의 반암질 석영 몬조나이트는 광산에 분포하는 층들을 절단하며 관입하고 있다.

하부 적색층으로 알려진 얇은 층상의 이회암과 사암은 광산의 중앙부와 낮은 고도에서 관찰된다. 상부 적색층은 광산의 동쪽에서 분포하며, 탄산염질 처어트로 구성된다. 광산의 서쪽에는 교호하는 역암과 사암이 나타난다.

Huaron은 동서방향의 압축력으로 형성된 배사구조내에 위치한다. 배사축은 대략 NS 주향과 N 경사를 보여준다. 지역에는 두 개의 주요 단층계가 존재하는데, 배사축과 평행한 NS주향의 스투스트단층들과 EW 주향의 장력단층들로 구성된다.

Huaron 광산은 Ag, Pb, Zn Cu 광화작용에 의해 형성된 열수다금속광산으로, Huaron 배사구조내에 주로 위치하는 구조들내에서 발달한다. 이들 구조선들은 몬조나이트 암맥의 관입과 관련된 것이다. 광화작용은 주요 단층계에 평행한 맥상으로, 역암과 기타 적합한 층서면의 탄산염부분과 관련된 “manto”로 알려진 교



대광체로, 그리고 맥의 교차점에서 몬조나이트 관입체 내 광염상으로 나타난다.

광화맥(mineralized veins)은 넓이가 수 cm에서 10 m까지 다양하며, 주향을 따라 1,800 m까지 연장되기도 한다. 맥은 일반적으로 EW 또는 NS 등 다양한 방향을 보여준다. 현재의 광물 매장량은 위치와 방향성에 따라 13개의 광화맥군으로 대별할 수 있는 96개의 구조선들에서 산출되는 양을 바탕으로 선정되었다 (Fig. 13).

광화작용의 첫 단계는 Zn, Fe, Sn, W 광물이 침전될 때, 관입체의 정치와 이후의 구조선의 열극과 관련되어진다. 이후 Cu, Pb, Ag가 풍부한 단계를 걸쳐 마지막으로 석영과 관련된 Sb/Ag의 침전이 이루어졌다.

가장 중요한 유용광물은 합 Ag 테난타이트-테트라헤드라이트(tennantite-tetrahedrite), 섬아연석, 방연석이지만, 90개 이상의 광물이 산출된다. 주요 맥석광물은 황철석, 석영, 방해석 및 능망간석(rhodochrosite)이다. 황비동석(enargite)과 유비철석은 광산의 중앙부에서 일반적으로 산출되며, Zn 산화물과 규산염은 심하게 풍화된 구조선에서 산출된다. 또한, Ag는 농홍은석

(pyrargyrite), 담홍은석(proustite), 폴리바사이트(polybasite), 피어사이트(pearceite) 광물 등에서 산출된다.

Huaron 광산에서는 광물산출의 누대구조를 확실히 관찰할 수 있다. 주요 유용광물이 황비동석인 중앙의 Cu 중심부가 있으며, 구조선은 황철석과 석영과 함께 Cu를 포함한다. 이 지역은 광역적으로 채광되었지만, 향후의 작업은 높은 As 및 Sb의 함량과 낮은 금속 회수율에도 불구하고 금속품위와 가격에 따라 이루어질 것이다. 중앙부의 동서쪽에서는 Ag, Pb, Zn 광물들이 방해석과 능망간석과 함께 산출되고 있으며, 북쪽 지역에서는 황철석과 관련되어 Ag, Pb, Zn 광물이 산출된다. 배사축을 따라 NS방향으로 발달하는 좁은 띠는 주로 능망간석과 관련되어 섬아연석과 황염광물(sulfosalt)이 산출한다.

지역의 중앙 중심부는 빙장식-견운도 변질작용을 받았는데, 이는 강력한 구화작용과 녹립석-황철석 작용에 의해 덮여있다. 이 중심부는 외각으로 녹니석과 자철석으로 변하는 녹염석-황철석-석영대로 싸여있다. 광화된 구조선은 지역의 중앙 중심부에 집중되어 있지만, 중요한 구조선은 외각으로 연속된다.

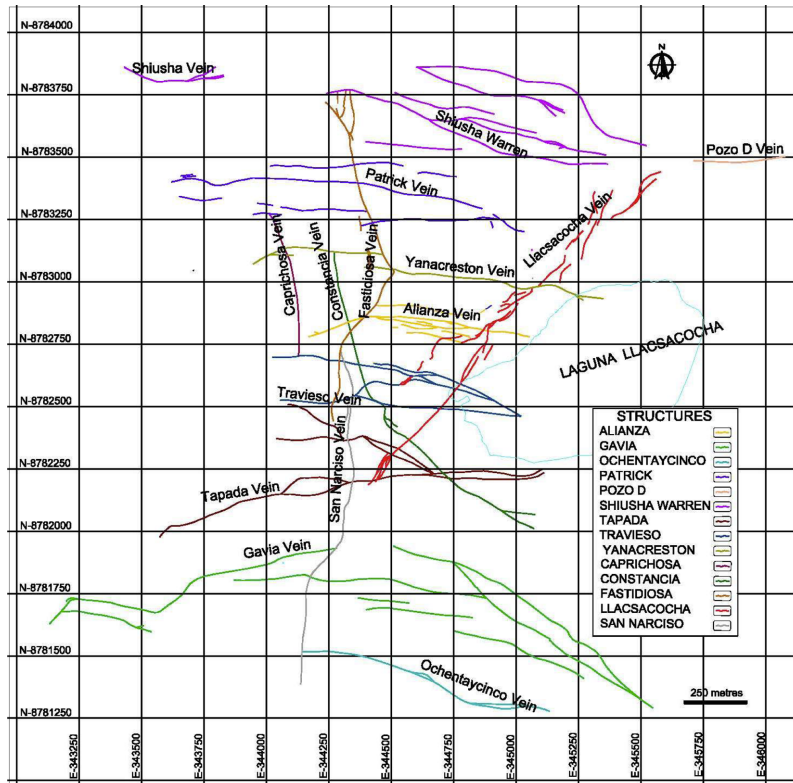
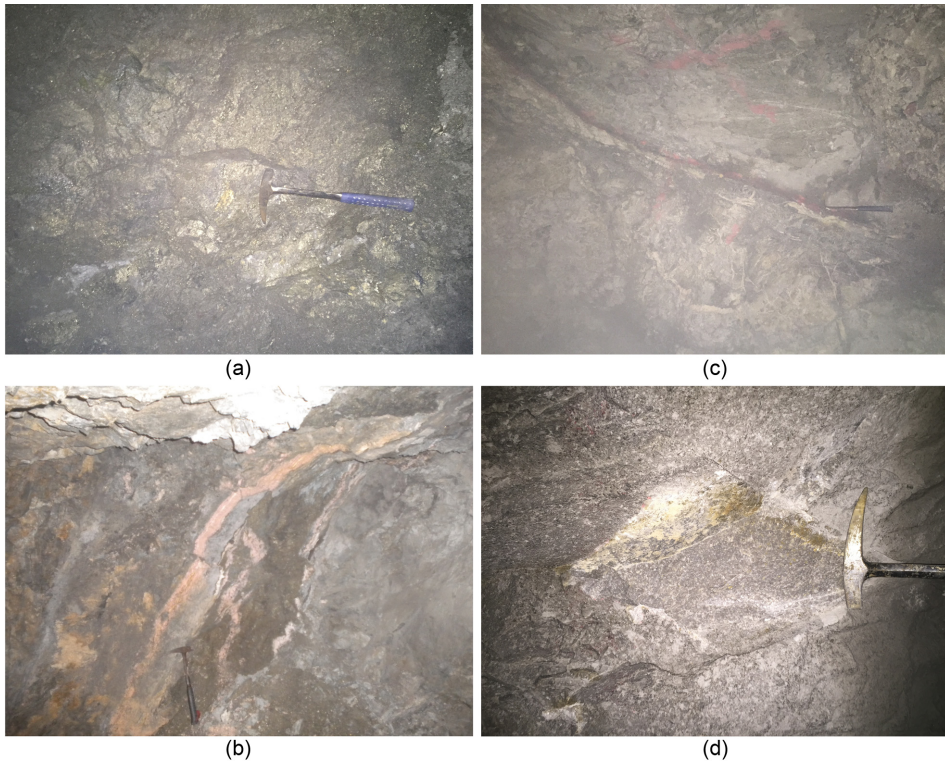


Fig. 13. Schematic map showing mineralized trends.



**Fig. 14.** Photographs. (a) San Narciso vein filling in brecciated zone; (b) Traviezo vein with rhodochrosite layer; (c) Alianza vein filling in fracture; (d) monzonite showing pyrite veinlet.

**Table 4.** Huaron mineral resources and reserves

		Tonnes(Mt)	Zn(%)	Pn(%)	Cu(%)	Ag(g/t)
Resources	Measured	1.7	2.93	1.66	0.27	166
	Indicated	1.4	2.95	1.58	0.67	167
	Inferred	7.3	2.75	1.48	0.32	153
		Tonnes(Mt)	Zn(%)	Pn(%)	Cu(%)	Ag(g/t)
Reserves	Proven	6.1	2.99	1.40	0.41	172
	Probable	3.7	3.17	1.58	0.27	167

본 광산은 추가적인 광석을 확보하기 위해 잠재성이 높은 광맥, manto, 광염상의 광체에 대한 탐사가 계속적으로 이루어지고 있다.

Huaron 광산의 갱내 조사는 4개의 맥상 광체(산 나르시코(San Narciso) 맥, 타파다(Tapada) 맥, 트라비조(Traviezo) 맥과 알리안자(Alianza)맥)에서 수행되었다(Figs. 13 and 14). 산 나르시코 맥의 주 광석광물은 방연석으로, Ag 광물과 섬아연석이 부수적으로 산출되며, 능망간석(rhodochrosite)이 산출된다. 타파다 맥은 E-W방향으로 발달하며, 괴상의 황철석과 능망간

석이 산출되고, 주 광석광물로는 섬아연석과 방연석으로 맥 폭은 약 1 m정도이다. 트라비조 맥은 괴상의 황철석이 산출되며 방연석과 섬아연석이 주 광석광물로 산출된다. 이 맥의 가장 특징적인 것은 황비동석(enargite)이 산출되는 것이다. 은 광물도 방연석과 함께 산출된다. 알리안자맥은 방연석이 우세하게 산출되며, 부수적으로 엘렉트럼(electrum)과 테트라디마이트(tetradymite)가 산출된다. 관계화성암은 주로 몬조나이트이다. 2015년 12월 31일 현재 Huaron 광산의 자원량과 매장량은 Table 4와 같다.

### 3. 결 론

페루 중부 오온지역 다중금속 광화대내 부존하는 Iscaycruz Zn-Cu-Pb, Raura Pb-Zn-Cu 및 Huaron Ag-Pb-zn 광산을 대상으로 지질광상 조사를 수행하였다.

Iscaycruz 광산은 다중속 고대 및 스카른 광상이다. 2014년 기준 생산량은 1,322,670톤으로, 평균 품위는 Zn 7.22%, Pb 0.75%, Cu 0.44% 그리고 Ag 1.42g/t 이었다. 광화작용과 변질작용은 Santa 층군과 Pariahuanca 층군을 모암으로 주로 NW-SE 단층에 의해 규제되는 광상이며, 특히, Chupa 광체는 ENE 단층과 연계되어 있고, Tinyag와 East Santa 광체는 아마도 심부에서 동일 관입암과 연관되어 있는 것으로 판단하고 있다. 또한, 광화작용과 변질작용의 누대구조가 잘 발달하고 있다.

Raura 광산은 백악기 마차이(Machay) 석회암층이 퇴적되어 있으며, 섬록반암이 관입과 연관된 암맥들에 의해 광화작용이 발달한다. 여러 개의 광체가 발달하고 있으며, 그 중 카투보(Catuvo)광체는 Pb-Zn 광화작용이, 니나코차(Ninacoha)광체는 은(Ag)이 풍부한 방연석이 산출된다. 에스페란자(Esperanza)광체와 레스토라도라(Restauradora)광체는 맥상으로 수많은 소규모의 구조에 의해 광화작용이 규제되고 있다.

Huaron 광산에서 산출되는 주요 광물은 테난타이트-테트라헤드라이트(tennantite-tetrahedrite), 섬아연석, 방연석 그리고 황동석 및 황비동석이며, 맥석광물로는 주로 석영, 능망간석, 장미회석, 그리고 방해석 등이 산출된다. 수많은 광맥은 연장이 100m에서 1,800m까지 다양하며 bhrdms 0.03~6m에 이른다. 현재 해발고도 4,830m에서 심부 4,180m까지 약 550m가 개발되었다.

본 연구는 지질광상조사를 통하여 페루 중부의 대표적인 오온 다중금속 광화대에 부존하고 있는 광산의 광상성인연구를 목표로 수행되었으며, 현재 각 광산에서 채취한 시료를 대상으로 다양한 광물·광상학적 연구가 진행되고 있어 향후 결과를 발표할 예정이다.

### 사 사

본 연구는 한국지질자원연구원(KIGAM)이 수행하고 있는 <해외/북극권 광물자원탐사 및 부존잠재성 평가(16-3217)>과제에서 지원되었습니다.

### References

- Acosta, J., Bustamante, A., Cardozi, M., Heo, C.H. and Kim, E.J. (2013) Copper in Peru: Present status and future challenge. *Econ. Environ. Geol.*, v.46, p.561-568.
- Beckinsale, R. D., Sanchez-Fernandez, A. W., Brook, M., Cobbing, E. J., Taylor, W. P., and Moore, N. D., 1985, Rb-Sr whole-rock isochron and K-Ar ages for the Coastal batholith of Peru, in Pitcher, W. S., Atherton, M. P., Cobbing, E. J., and Beckinsale, R. D., eds., *Magmatism at a plate edge: The Peruvian Andes*: London, Blackie, p. 177-202.
- Bussel, M. A., Alpers, C. N., Petersen, U., Shepherd, T. J., Bermudez, C. and Baxter, A. N. (1990) The Ag-Mn-Pb-Zn Vein, Replacement, and Skarn Deposits of Uchucchacua, Peru; Studies of Structure, Mineralogy, Metal Zoning, Sr Isotopes, and Fluid Inclusions. *Econ. Geol.*, v.85, p.1348-1383.
- Clark, A.H., Farrar, E., Kontak, D.J., Langridge, R.J., Arenas, M.J., France, L.J., McBride, S.L., Woodman, P.L., Wasteneys, H.A., Sandeman, H.A. and Archibald, D.A. (1990) Geologic and geochronologic constraints on the metallogenic evolution of the Andes of South-eastern Peru. *Econ. Geol.* v.85, p.1520-1583.
- Compania Minera Raura S. A., 2015, Raura Mine, 30p.
- Grant, J.N., Halls, C., Sheppard, S.M. F and Avila, W. (1980) Evolution of the porphyry tin deposits of Bolivia. *Min. Geol. Spec.* v.8, p.151-173.
- Ishihara, S. (1981) The granitoid series and mineralization. *Econ. Geol. 75th Anniversary Volume*, p.458-484.
- Lehmana, B., Ishihara, S., Michel, H., Miller, J., Rapela, C., Sanchez, A., Tistl, M. and Winkelmann, L. (1990) The Bolivian tin province and regional tin distribution in the Central Andes: a reassessment. *Econ. Geol.* v.8, p.1044-1058.
- Los Quenuales, 2015, Mineral resources of Iscaycruz, 32p.
- Mégard, F., Noble, D.C., McKee, E. H., and Ballon, H., 1984, Multiple pulses of Neogene compressive deformation in the Ayacucho intermontane basin, Andes of Peru: *Geol. Soc. America Bull.*, v. 95, p. 1108-1117.
- Mukasa, S. B., and Tilton, G. R. (1983) Temporal relations and Pb systematic in plutonic rocks of the western and coastal cordilleras, Peru. *Am. Geophys. Union Trans.* v.64, p.321.
- Pan American Silver Huaron S. A., 2015, Huaron Mine, 18p.
- Rosenbaum, G., Giles, D., Saxon, M., Betts, P.G., Weinberg, R.F. and Duboz, C. (2005) Subduction of the Nazca Ridge and the Inca Plateau: Insights into the formation of ore deposits in Peru. *Earth and planetary Science Letters*, v.239, p.18-32.
- Sillitoe, R.H. (1976) Andean mineralization: a model for the metallogeny of convergent plate margins. *Geological Association of Canada, Special Paper*, 14, p.59-100.
- Stoll, W.C. (1965) Metallogenic provinces of South America: *mining magazine*, p.112, 22-33 and 90-99.
- Wilson, P. A., 1975, Potassium-argon age studies in Perú with special reference to the emplacement of the Coastal batholith: Unpub. Ph.D, thesis, England, Univ. Liverpool, 299p.